

## PATENT ABSTRACTS OF JAPAN

(11)Publication number : 2004-296538

(43)Date of publication of application : 21.10.2004

(51)Int.Cl.

H01S 5/18  
G02B 6/12

(21)Application number : 2003-083706

(71)Applicant : JAPAN SCIENCE &  
TECHNOLOGY AGENCY  
KONICA MINOLTA HOLDINGS  
INC

(22)Date of filing : 25.03.2003

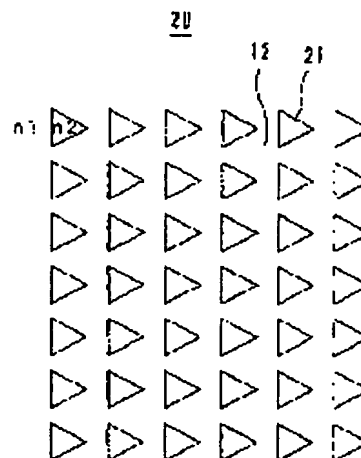
(72)Inventor : NODA SUSUMU  
YOKOYAMA HIKARI  
SEKINE KOJIRO  
MIYAI EIJI

(54) 2-DIMENSIONAL PHOTONICK CRYSTALLINE PLANE LUMINESCENCE LASER

(57)Abstract:

PROBLEM TO BE SOLVED: To obtain a 2-dimensional photonic crystalline plane luminescence laser wherein a surface-emitted light is a linearly polarized light of unimodal nature and a Q value is high.

SOLUTION: The photonick crystal periodic structures 21 composed of second medium are arranged in an active layer (first medium) 12 which emits light by carrier implantation, or in the vicinity of the layer 12, where the first medium and the second medium are different in refractive index. Grid structure of photonic crystal 20 is tetragonal lattice or rectangular lattice, and has translation symmetry although it has not rotation symmetry. Alternately, grid structure of the photonick crystal 20 is tetragonal lattice or rectangular lattice and one out of pl, pm, pg or cm in a classification method of 2-dimensional pattern. The form of lattice point is nearly triangular most preferably.



LEGAL STATUS

[Date of request for examination] 30.11.2005

[Date of sending the examiner's decision of rejection]

[Kind of final disposal of application other than the examiner's decision of rejection or application converted registration]

[Date of final disposal for application]

[Patent number]

[Date of registration]

[Number of appeal against examiner's decision of rejection]

[Date of requesting appeal against examiner's decision of rejection]

[Date of extinction of right]

**\* NOTICES \***

JPO and NCIPi are not responsible for any damages caused by the use of this translation.

1. This document has been translated by computer. So the translation may not reflect the original precisely.
2. \*\*\*\* shows the word which can not be translated.
3. In the drawings, any words are not translated.

---

**CLAIMS**

---

[Claim(s)]

[Claim 1]

In the two-dimensional photograph nick crystal-face luminescence laser which contained the photograph nick crystal period structure which arranged the medium by which refractive indexes differ with the two-dimensional period in the barrier layer which emits light by impregnation of a carrier, or its near,

The photograph nick crystal it are a tetragonal lattice or a rectangular grid, and is not equipped with symmetry-of-revolution nature although the grids structure of said photograph nick crystal period structure is equipped with advancing-side-by-side symmetric property is built in,

Two-dimensional photograph nick crystal-face luminescence laser by which it is characterized.

[Claim 2]

In the two-dimensional photograph nick crystal-face luminescence laser which contained the photograph nick crystal period structure which arranged the medium by which refractive indexes differ with the two-dimensional period in the barrier layer which emits light by impregnation of a carrier, or its near,

The grids structure of said photograph nick crystal period structure builds in the photograph nick crystal which is a tetragonal lattice or a rectangular grid and is either p1, pm, pg or cm by the classification approach of IUC (International Union of Crystallography in 1952) of a two-dimensional pattern,

Two-dimensional photograph nick crystal-face luminescence laser by which it is characterized.

[Claim 3]

Two-dimensional photograph nick crystal-face luminescence laser according to claim 1 or 2 characterized by the configurations of the lattice point of said photograph nick crystal being about 3 square shapes.

[Claim 4]

Two-dimensional photograph nick crystal-face luminescence laser according to claim 1 or 2 with which the configuration of the lattice point of said photograph nick crystal is mostly characterized by comparatively big circle configuration and comparatively small thing mostly consisted of combination of a circle configuration.

[Claim 5]

Two-dimensional crystal-face luminescence laser according to claim 1 or 2 characterized by being constituted by the medium in which the lattice point of said photograph nick crystal has two or more kinds of media or refractive-index distribution from which a refractive index differs.

---

[Translation done.]

**\* NOTICES \***

**JPO and NCIPi are not responsible for any damages caused by the use of this translation.**

1. This document has been translated by computer. So the translation may not reflect the original precisely.
2. \*\*\*\* shows the word which can not be translated.
3. In the drawings, any words are not translated.

---

**DETAILED DESCRIPTION**

---

**[Detailed Description of the Invention]****[0001]****[Field of the Invention]**

This invention equips two-dimensional photograph nick crystal-face luminescence laser, the barrier layer which emits light by impregnation of a carrier especially, or its near with the photograph nick crystal period structure which has arranged the refractive-index period two-dimensional, resonates with a photograph nick crystal and relates to the two-dimensional photograph nick crystal-face luminescence laser which carries out field luminescence.

**[0002]****[Description of the Prior Art]****[Patent reference 1]**

JP,2000-332351,A

**[Patent reference 2]**

JP,2003-23193,A

**[0003]**

Conventionally, from the substrate side, perpendicularly, the surface emission-type laser which carries out outgoing radiation of the laser beam is developed variously, and is studied. Since a surface emission-type laser can accumulate many components on the same substrate (array-izing) and outgoing radiation of the coherent light is carried out in juxtaposition from each component, the application in the field of a juxtaposition optical pickup, juxtaposition optical transmission, and optical juxtaposition information processing is expected.

**[0004]**

As this kind of a surface emission-type laser, the two-dimensional photograph nick crystal-face luminescence laser using a photograph nick crystal is indicated by the patent reference 1. It is the crystal which has a refractive-index period with a photograph nick crystal comparable as the wavelength of light, or smaller, and it is as possible as a band gap arises in an electronic state in the crystal of a semi-conductor in the multi-dimension period structure of a dielectric for the wavelength range (photograph nick band gap) which controls the guided wave of light to arise, and to confine light in two-dimensional or a three dimension by the same principle.

**[0005]**

Two-dimensional photograph nick crystal-face luminescence laser given in said patent reference 1 is equipped with the photograph nick crystal period structure which has arranged the refractive-index period two-dimensional near the barrier layer which emits light by impregnation of a carrier, and it resonates with a photograph nick crystal and it carries out field luminescence.

**[0006]**

As shown in drawing 25, the laminating of the lower cladding layer 12, a barrier layer 13, and the up cladding layer 14 is carried out on an outline and a substrate 11, and, specifically, as for the two-dimensional photograph nick crystal-face luminescence laser 10, the two-dimensional photograph nick crystal 20 is built in the lower cladding layer 12 near the barrier layer 13.

**[0007]**

A substrate 11 consists of a semiconductor material of the n mold InP. The lower cladding layer 12 and the up cladding layer 14 are semi-conductor layers of n mold and the p mold InP, respectively,

for example, and its refractive index is lower than a barrier layer 13. The two-dimensional photograph nick crystal 20 consists of holes (it is also called the photograph nick crystal period structure 21 and the lattice point) formed in the lower cladding layer 12, and consists of the tetragonal lattice and triangular grid from which the medium by which refractive indexes differ was arranged with the two-dimensional period in the lower cladding layer 12. It may be filled up with SiN etc. in a hole. The barrier layer 13 consists of multiplex quantum well structure where the semiconductor material of for example, an InGaAs/InGaAsP system was used, and emits light by impregnation of a carrier.

[0008]

On both sides of a barrier layer 13, a double heterojunction is formed by the lower cladding layer 12 and the up cladding layer 14, and the carrier which shuts up a carrier and is contributed to luminescence is centralized on a barrier layer 13.

[0009]

The lower electrode 16 and the up electrode 17 which consist of gold etc. are formed in the base of a substrate 11, and the top face of the up cladding layer 14. By impressing an electrical potential difference between an electrode 16 and 17, a barrier layer 13 emits light and the light which leaked from this barrier layer 13 carries out incidence to the two-dimensional photograph nick crystal 20. The light whose wavelength corresponds with the lattice spacing of the two-dimensional photograph nick crystal 20 resonates with the two-dimensional photograph nick crystal 20, and is amplified. Thereby, field luminescence of the coherent light is carried out from the top face (luminescence field 18 located in the perimeter of an electrode 17) of the up cladding layer 14.

[0010]

Here, a resonance operation is explained about the two-dimensional photograph nick crystal 20 which consists of a tetragonal lattice as shown in drawing 26. In addition, a grid configuration may be not only a tetragonal lattice but a rectangular grid etc.

[0011]

The two-dimensional photograph nick crystal 20 consists of a tetragonal lattice formed in the 1st medium 12 the same period as the 2-way which intersects perpendicularly with the 2nd medium 21, such as a hole. The tetragonal lattice has the typical direction of the direction of gamma-X, and the direction of gamma-M. If spacing of the 2nd medium 21 which adjoins in the direction of gamma-X is set to a, the primitive lattice E with which one side which made the 2nd medium 21 the lattice point consists of squares of a is formed.

[0012]

If the light L whose wavelength  $\lambda$  corresponds with the lattice spacing a of a primitive lattice E advances in the direction of gamma-X, Light L will be diffracted in the lattice point. Among these, only the light diffracted in the direction (0 degree,  $\pm 90$  degrees, and 180 degrees) to the travelling direction of Light L fulfills a Bragg condition. Furthermore, since the lattice point exists also in the travelling direction of the light diffracted in the direction (0 degree,  $\pm 90$  degrees, and 180 degrees), the diffracted light is again diffracted in 0 degree,  $\pm 90$  degrees, and the direction of 180 degree to a travelling direction.

[0013]

If Light L repeats the diffraction of 1 time or multiple times, since the diffracted light returns at the original lattice point, a resonance operation will arise. Moreover, the light diffracted in the primary direction perpendicular to the space of drawing 26 also fulfills a Bragg condition. For this reason, outgoing radiation of the light amplified by resonance will be carried out through the up cladding layer 14, and it will have a field luminescence function. Moreover, since this phenomenon arises in all the lattice points, coherent laser oscillation is possible throughout the inside of a field.

[0014]

In order to consider more quantitatively the two-dimensional resonance phenomena using said photograph nick crystal, the dispersion relation of the light in a two-dimensional tetragonal lattice photograph nick crystal is shown in drawing 27. In drawing 27, an axis of abscissa expresses the sense and magnitude of the wave number of light which are called a wave number vector. An axis of ordinate is the normalized radian frequency which multiplied by it and formed  $a/c$  into the-less dimension in the frequency of light. Here, c is the velocity of light (unit: m/sec), and a is a lattice

spacing (unit: m).

[0015]

Since the group velocity  $v_g$  which is the propagation velocity of luminous energy is expressed with  $\omega/k$ , at the band edge at which the inclination becomes 0 in drawing 27, the group velocity of light is set to 0, and it means that a standing wave arises. Therefore, in various band edges, the characteristic laser oscillation according to each band edge becomes possible. Especially, the band edge of Point S (gamma  $\Gamma$  group) is the oscillating point which can take out light in association of said four waves, and the direction perpendicular to a field.

[0016]

The detail of said point S is shown in drawing 28. If drawing 28 is referred to, there will be four band edges (mode) I, II, III, and IV including the band edges III and IV which carried out one duplex degeneration among the band edges of gamma point, and it will be thought that laser oscillation is produced in either of these four band edges (mode).

[0017]

Among these four modes, since two points of the band edges III and IV are degenerating, electric-field distribution is not uniquely decided by the property of degeneration, but they become unstable. Moreover, other two modes I and II which are not degenerating have unique polarization, and it has the description as shown in drawing 29 and drawing 30. Drawing 29 shows electric-field distribution of the field luminescence component in Mode I, and drawing 30 shows electric-field distribution of the field luminescence component in Mode II.

[0018]

Modes I and II have the trouble that it cannot be used, for the application as which it is required that polarization has gathered since the polarization direction changes with locations so that clearly from drawing 29 and drawing 30. Moreover, since electric fields overlap in the direction mutually negated in the core of a luminescence side, as a result, it will be bright only in the circumference and the core will carry out luminescence of the shape of a dark doughnut.

[0019]

Moreover, since electric-field distribution does not become fixed with the property of degeneration like the above-mentioned about the modes III and IV which carried out duplex degeneration, also in these modes III and IV, polarization is not decided uniquely but becomes unstable. Then, it found out that polarization was able to keep step with an one direction by this invention persons' examining arranging the polarization direction in a certain specific direction, and designing appropriately the configuration of the lattice point which constitutes a two-dimensional photograph nick crystal (patent reference 2 reference).

[0020]

As the example, the band structure near an oscillating point in case the configuration of the lattice point makes elliptical is shown in drawing 31, and the electric-field distribution is shown in drawing 32 - drawing 35.

[0021]

Degeneration solves completely the modes III and IV which were degenerating when a lattice point configuration was a perfect circle configuration, and the band structure shown in drawing 31 shows new mode III' and that it is IV'. in addition -- the lattice point -- a configuration -- an ellipse ---izing -- obtaining -- having had -- the mode -- energy -- being low -- the way -- from -- the mode -- I -- ' -- II -- ' -- III -- ' -- IV -- ' -- \*\* -- naming -- a perfect circle -- a case -- the mode -- distinguishing -- things -- carrying out .

[0022]

Moreover, it is clear from drawing 32 which shows electric-field distribution - drawing 35 that the polarization direction is equal to the one direction also in mode I' and mode II' as a very important point not to mention solution column mode III' of degeneration and mode IV' by the effectiveness by ellipse-izing of a lattice point configuration.

[0023]

[Problem(s) to be Solved by the Invention]

By the way, as for mode III' and IV', in addition to the polarization direction, all the locations of a luminescence side have also had complete set of phase. On the other hand, the trouble that II' carried

out the bimodal oscillation to which electric field deny, there are and they become dark mutually in the core of a luminescence side since [ although the polarization direction has gathered, ] 180 degrees of phases are reversed across a core by the upper and lower sides (mode I') or right and left (mode II'), mode I' and was seen.

[0024]

Furthermore, the trouble that a threshold became high when the way of II' has high Q value, and chose mode III' and IV' from mode III' and IV' as oscillation mode and mode I' and II' are chosen as oscillation mode, mode I' and was also seen with the property as a resonator of a photograph nick crystal. That is, the monophasic linearly polarized light which is easy to use, and coexistence of the reduction in a threshold (Q value is high) are difficult.

[0025]

Then, the purpose of this invention is to offer the high two-dimensional photograph nick crystal-face luminescence laser of Q value while the light by which field luminescence was carried out is the monophasic linearly polarized light.

[0026]

[The configuration, an operation, and effectiveness] of invention

In order to attain the above purpose, the 1st invention to the barrier layer which emits light by impregnation of a carrier, or its near In the two-dimensional photograph nick crystal-face luminescence laser which contained the photograph nick crystal period structure which arranged the medium by which refractive indexes differ with the two-dimensional period Grids structure of said photograph nick crystal is characterized by building in the photograph nick crystal which is a tetragonal lattice or a rectangular grid, and is not equipped with symmetry-of-revolution nature although it has advancing-side-by-side symmetric property.

[0027]

In the two-dimensional photograph nick crystal-face luminescence laser which contained the photograph nick crystal period structure which arranged the medium by which refractive indexes differ with the two-dimensional period in the barrier layer to which the 2nd invention emits light by impregnation of a carrier, or its near The grids structure of said photograph nick crystal is a tetragonal lattice or a rectangular grid. It is characterized by building in the photograph nick crystal which is either p1, pm, pg or cm by the classification approach of IUC (International Union of Crystallography in 1952) of a two-dimensional pattern.

[0028]

In the two-dimensional photograph nick crystal-face luminescence laser concerning said 1st and 2nd invention, although it has advancing-side-by-side symmetric property for the grids structure of a photograph nick crystal, if it puts in another way by considering as the structure which is not equipped with symmetry-of-revolution nature, while the light by which field luminescence was carried out by carrying out to either p1, pm, pg or cm by said classification approach will be the monophasic linearly polarized light, Q value can be made high (it is about a threshold).

[0029]

As for the configuration of the lattice point of a photograph nick crystal, in the two-dimensional photograph nick crystal-face luminescence laser concerning the 1st and 2nd invention, it is desirable that they are about 3 square shapes. moreover, the configuration of the lattice point of a photograph nick crystal is comparatively big -- comparatively as small almost as a circle configuration -- you may constitute from combination of a circle configuration mostly. Or it may be constituted by the medium in which the lattice point of a photograph nick crystal has two or more kinds of media or refractive-index distribution from which a refractive index differs.

[0030]

[Embodiment of the Invention]

Hereafter, the operation gestalt of the two-dimensional photograph nick crystal-face luminescence laser concerning this invention is explained with reference to an accompanying drawing.

[0031]

(When the lattice point is a triangle-like)

The two-dimensional photograph nick crystal-face luminescence laser concerning this invention becomes the 1st medium (lower cladding layer) 12 of a refractive index  $n_1$  from the two-dimensional

photograph nick crystal 20 which has arranged the 2nd medium (it is described also as the photograph nick crystal period structure and the lattice point) 21 of a refractive index  $n_2$  (however,  $n_1 \neq n_2$ ) in the shape of a tetragonal lattice, as the planar structure is shown in drawing 1. This fundamental structure is the same as that of the conventional surface emission-type laser shown in drawing 25, and carries out field luminescence by the principle shown in drawing 26.

[0032]

The two-dimensional photograph nick crystal 20 shown in drawing 1 is what constituted the tetragonal lattice by making the configuration of the photograph nick period structure 21 into a triangle, and although it is equipped with advancing-side-by-side symmetric property, it is not equipped with symmetry-of-revolution nature.

[0033]

Electric-field distribution of the field luminescence component obtained by making the photograph nick crystal period structure 21 into the shape of a triangle at drawing 2 - drawing 5 is shown. this -- two-dimensional -- a photograph -- a nick -- a crystal -- 20 -- it is -- even if -- four -- a \*\* -- the mode -- existing -- respectively -- the mode -- I -- " -- II -- " -- III -- " -- IV -- " -- \*\* -- naming . It turns out that the linearly polarized light oscillation monophasic in all the modes is obtained so that clearly from drawing 2 - drawing 5.

[0034]

the mode -- I -- " -- II -- " -- III -- " -- IV -- " -- respectively -- the lattice point -- a configuration -- elliptical -- it is -- a case -- the mode -- I -- ' -- II -- ' -- III -- ' -- IV -- ' (refer to drawing 32 - drawing 35) -- congener -- the mode -- it is -- a sake -- the mode -- I -- " -- II -- " -- the mode -- III -- " -- IV -- " -- comparing -- a resonator -- \*\*\*\*\* -- Q value -- high -- a threshold -- low -- becoming -- an advantage -- having -- \*\*\*\* . That is, in mode I' and II', it is compatible in a low threshold and monophasic. Therefore, the lattice point will use mode I' or mode II' as oscillation mode as the triangle-like two-dimensional photograph nick crystal 20.

[0035]

The above-mentioned phenomenon is understood as follows. A two-dimensional photograph nick crystal is the laser of the type which takes out light perpendicularly to a luminescence side, and polarization of the light taken out is determined in the direction of electric field from which it is distributed over the part with a refractive index low among periodic refractive-index distribution which constitutes the photograph nick crystal. If the electric-field distribution in the photograph nick crystalline region shown in drawing 32 (B) is seen when a lattice point configuration is an ellipse (for example, when it is mode I'), electric field will sandwich the ellipse lattice point when a refractive index is low. Since that electric field that progress rightward, and the electric field which progress leftward exist up and down, as a result of this light's being taken out from a photograph nick crystal by diffraction and passing through interference, electric field have the electric-field distribution from which a phase differs by the upper and lower sides across a core as shown in drawing 32 (A).

[0036]

As a result of this light's being taken out from a photograph nick crystal by diffraction and passing through interference on the other hand since electric field are distributed so that it may pierce through the ellipse lattice point when a refractive index is low to an one direction when the electric-field distribution in the photograph nick crystalline region shown in drawing 35 (B) was seen in for example, mode IV', electric field are equal to the one direction, as shown in drawing 35 (A).

[0037]

Therefore, what is necessary is just to make the electric field to which the direction was equal to the 2nd medium with a low refractive index distributed in the field of a two-dimensional photograph nick crystal, in order to obtain the radiation mode equipped with the monophasic electric-field distribution with the linearly polarized light.

[0038]

then -- drawing 6 - drawing 8 -- the lattice point -- a perfect circle -- a configuration -- elliptical -- and -- a triangle -- \*\* -- \*\* -- having carried out -- a case -- the mode -- I -- I -- ' -- I -- " -- it can set - electric field -- distribution -- a situation -- typical -- being shown . Drawing 6 (A), drawing 7 (A), and drawing 8 (A) show the electric-field distribution inside a photograph nick crystal, and drawing



6 (B), drawing 7 (B), and drawing 8 (B) show the electric-field distribution at the time of taking out by one period in the 2nd medium with a low refractive index (two-dimensional photograph nick period crystal structure object). Moreover, drawing 6 (C), drawing 7 (C), and drawing 8 (C) show electric-field distribution of the component perpendicularly taken out by the luminescence side. Still more detailed electric-field distribution is shown in drawing 9 and drawing 10, and when the lattice point of drawing 9 is a perfect circle configuration, drawing 10 shows the case where the lattice point is a triangle-like, respectively.

[0039]

By the way, when the lattice point is made into the shape of a triangle, electric-field distribution of the component perpendicularly taken out by the luminescence side becomes the image made to rotate strictly 180 degrees of electric fields distributed over the 2nd medium part with a low refractive index, as shown in drawing 8.

[0040]

drawing 11 - drawing 13 -- said -- drawing 6 - drawing 8 -- the same -- the lattice point -- a perfect circle -- a configuration -- elliptical -- and -- a triangle -- \*\* -- \*\* -- having carried out -- a case -- the mode -- II -- II -- ' -- II -- " -- it can set -- electric field -- distribution -- a situation -- typical -- being shown.

[0041]

(The conditions and class of lattice point configuration)

The essential description which made the lattice point the shape of a triangle is to shift the period of a refractive index, and the period of electric-field distribution so that clearly [ drawing 8 and drawing 13 ]. Such a phenomenon is acquired when the grids structure which constitutes not only when the lattice point is a triangle-like, but the two-dimensional photograph nick crystal fulfills the following conditions.

[0042]

Namely, grids structure should just be the tetragonal lattice structure or the rectangular grids structure which does not contain symmetry-of-revolution nature. Generally, it is known that the two-dimensional repetitive statement can classify into 17 sorts according to the classification approach of IUC (International Union of Crystallography in 1952). In 17 sorts, they are p1, pm, pg, cm, p2, pmm, pgg, cmm, pmg, p4, p4m, p4g, p3, p31m, p3m1, p6, and p6m. Among those, the pattern which does not contain symmetry-of-revolution nature is four sorts, p1, pm, pg, and cm, as shown in the following table 1. In the case of triangle-like grids structure, it is equivalent to pm.

[0043]

[Table 1]

## (回転対称性を含まない２次元文様の分類)

IUC 記号	判定条件	可能な格子構造
p 1	鏡映、すべり鏡映を含まない。	斜交格子、直交格子、面心格子、正方格子、六方格子
p m	鏡映を含む。 すべり鏡映軸は必ず鏡映軸でもある。	直交格子、正方格子
p g	鏡映を含まない。 すべり鏡映を含む。	直交格子、正方格子
c m	鏡映を含む。 鏡映軸ではないすべり鏡映軸が存在する。	面心格子、正方格子、六方格子

[0044]

Reflection means a pattern symmetrical with a line to a reflection shaft, as shown in drawing 14 (A). Skid reflection means the case where the reflection pattern was slippery and a parallel displacement is carried out to a reflection shaft, as shown in drawing 14 (B).

[0045]

Next, the various configurations considered as a lattice point configuration are shown in drawing 15 - drawing 24 with the class (p1, pm, pg, or cm) of pattern. In addition, although the corner of a lattice point configuration is drawn on 90 degrees thru/or the include angle not more than it in each drawing 15 - drawing 21, if it is in the actually processed periodic structure, those corners have the radius of circle.

[0046]

Even if it does not change each lattice point configuration, the grids structure which is not equipped with symmetry-of-revolution nature although it has advancing-side-by-side symmetric property is realizable by adding small circle configuration 21' to the lattice point 21 of a perfect circle configuration, as shown in drawing 22 or drawing 23. Moreover, the method of addition of a small-circle configuration is also good for several round term at once. In short, what is necessary is just the pattern of not only each lattice point configuration but grids structure which can define the primitive lattice of finite size and by which it is repeated as a whole as a tetragonal lattice or a rectangular grid.

[0047]

Moreover, as shown in drawing 24, even if the lattice point configuration itself is a perfect circle, it is forming the medium of the 3rd refractive index  $n_3$  at the lattice point, and can realize grids structure equivalent to the pattern of pm. What is necessary is just to fill up this hole with the medium of refractive indexes  $n_2$  and  $n_3$ , after forming a hole in the 1st medium. Or what is necessary is just to fill up the medium of a refractive index  $n_2$  with air, then the medium of a refractive index  $n_3$  in the shape of a hemicycle. Moreover, you may fill up with the lattice point by the medium with two or more sorts of refractive-index distribution from which a refractive index differs.

[0048]

(Other operation gestalten)

in addition, the two-dimensional photograph nick crystal-face luminescence laser concerning this invention is not limited to said operation gestalt, within the limits of the summary, can be boiled variously and can be changed.

[0049]

Especially the ingredient of a semi-conductor layer, a photograph nick crystal, and an electrode, the structure for arranging polarization of light, etc. are arbitrary. Moreover, the photograph nick crystal period structure may be prepared in the barrier layer near the barrier layer in an up cladding layer in addition to a lower cladding layer.

[0050]

Moreover, although the relation of the refractive index of the 1st medium and the 2nd medium was explained in said operation gestalt as what has the refractive index of the 2nd medium lower than the refractive index of the 1st medium, it may be reverse relation.

[Brief Description of the Drawings]

[Drawing 1] The top view showing an example (the lattice point is the shape of a triangle) of the crystal-face structure of the two-dimensional photograph nick crystal-face luminescence laser concerning this invention.

[Drawing 2] The chart Fig. showing electric-field distribution of the field luminescence component (mode I") of the photograph nick crystal shown in drawing 1.

[Drawing 3] The chart Fig. showing electric-field distribution of the field luminescence component (mode II") of the photograph nick crystal shown in drawing 1.

[Drawing 4] The chart Fig. showing electric-field distribution of the field luminescence component (mode III") of the photograph nick crystal shown in drawing 1.

[Drawing 5] The chart Fig. showing electric-field distribution of the field luminescence component (mode IV") of the photograph nick crystal shown in drawing 1.

[Drawing 6] The chart Fig. showing the electric-field distribution in the mode I at the time of making the lattice point into a perfect circle configuration.

[Drawing 7] The chart Fig. showing the electric-field distribution in mode I' at the time of making the lattice point elliptical.

[Drawing 8] The chart Fig. showing the electric-field distribution in mode I" at the time of making the lattice point into the shape of a triangle.

[Drawing 9] For (A), (B) is the chart Fig. showing the electric-field distribution in a photograph nick crystalline region, and the chart Fig. showing electric-field distribution of a field luminescence component about the mode I at the time of making the lattice point into a perfect circle configuration.

[Drawing 10] For (A), (B) is the chart Fig. showing the electric-field distribution in a photograph nick crystalline region, and the chart Fig. showing electric-field distribution of a field luminescence component about mode I" at the time of making the lattice point into the shape of a triangle.

[Drawing 11] The chart Fig. showing the electric-field distribution in the mode II at the time of making the lattice point into a perfect circle configuration.

[Drawing 12] The chart Fig. showing the electric-field distribution in mode II' at the time of making the lattice point elliptical.

[Drawing 13] The chart Fig. showing the electric-field distribution in mode II" at the time of making the lattice point into the shape of a triangle.

[Drawing 14] The explanatory view showing reflection and skid reflection.

[Drawing 15] The top view showing other examples of a lattice point configuration and its array.

[Drawing 16] The top view showing the example of further others of a lattice point configuration and its array.

[Drawing 17] The top view showing the example of further others of a lattice point configuration and its array.

[Drawing 18] The top view showing the example of further others of a lattice point configuration and its array.

[Drawing 19] The top view showing the example of further others of a lattice point configuration and its array.

[Drawing 20] The top view showing the example of further others of a lattice point configuration and its array.

[Drawing 21] The top view showing the example of further others of a lattice point configuration and its array.

[Drawing 22] The top view showing the example of further others of a lattice point configuration and its array.

[Drawing 23] The top view showing the example of further others of a lattice point configuration and its array.

[Drawing 24] The top view showing the example of further others of a lattice point configuration and its array.

[Drawing 25] The perspective view showing the two-dimensional photograph nick crystal-face luminescence laser preceded with this invention.

[Drawing 26] The explanatory view showing a resonance operation of two-dimensional photograph nick crystal-face luminescence laser.

[Drawing 27] The band Fig. showing the dispersion relation of the light in the two-dimensional tetragonal lattice photograph nick crystal whose lattice point is a perfect circle configuration.

[Drawing 28] The band Fig. showing the detail of the point S of drawing 27.

[Drawing 29] The chart Fig. showing electric-field distribution of the field luminescence component in the mode I in which the lattice point is a perfect circle configuration.

[Drawing 30] The chart Fig. showing electric-field distribution of the field luminescence component in the mode II in which the lattice point is a perfect circle configuration.

[Drawing 31] The band Fig. showing the dispersion relation of the light in the two-dimensional tetragonal lattice photograph nick crystal which made the lattice point elliptical.

[Drawing 32] For (A), (B) is the chart Fig. showing electric-field distribution of a field luminescence component, and the chart Fig. showing the electric-field distribution in a photograph nick crystalline region about mode I' which made the lattice point elliptical.

[Drawing 33] The chart Fig. showing electric-field distribution of the field luminescence component of mode II' which made the lattice point elliptical.

[Drawing 34] The chart Fig. showing electric-field distribution of the field luminescence component of mode III' which made the lattice point elliptical.

[Drawing 35] For (A), (B) is the chart Fig. showing electric-field distribution of a field luminescence component, and the chart Fig. showing the electric-field distribution in a photograph nick crystalline region about mode IV' which made the lattice point elliptical.

[Description of Notations]

12 -- The 1st medium (lower cladding layer)

20 -- Two-dimensional photograph nick crystal

21 -- The 2nd medium (photograph nick crystal period structure, lattice point)

---

[Translation done.]

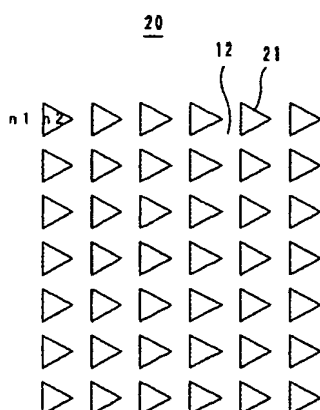
## \* NOTICES \*

JPO and NCIPI are not responsible for any damages caused by the use of this translation.

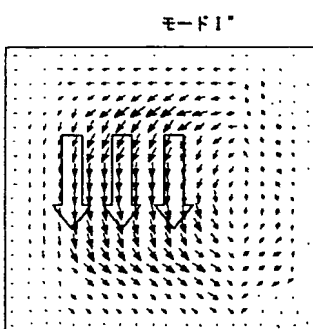
1. This document has been translated by computer. So the translation may not reflect the original precisely.
2. \*\*\*\* shows the word which can not be translated.
3. In the drawings, any words are not translated.

## DRAWINGS

[Drawing 1]

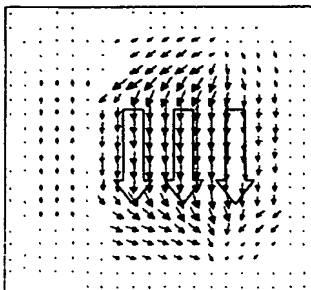


[Drawing 2]



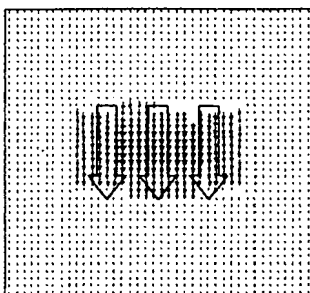
[Drawing 3]

モードⅡ'



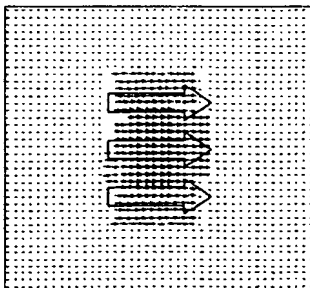
[Drawing 4]

モードⅢ'



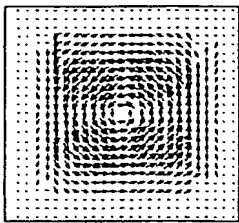
[Drawing 5]

モードⅣ'

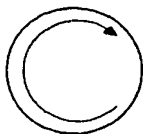


[Drawing 6]

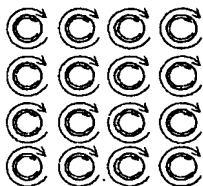
(C) 参考図



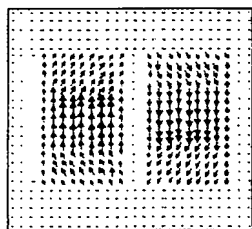
(B)



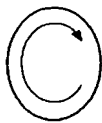
(A)

[Drawing 7]

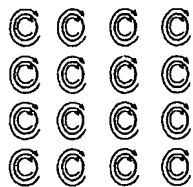
(C) 参考図

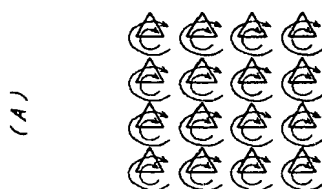
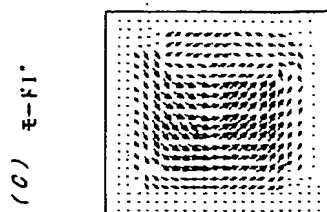


(B)



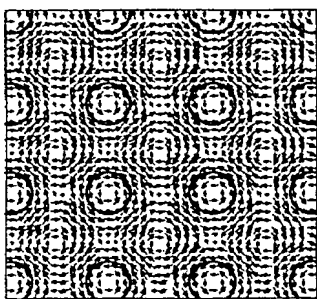
(A)

[Drawing 8]

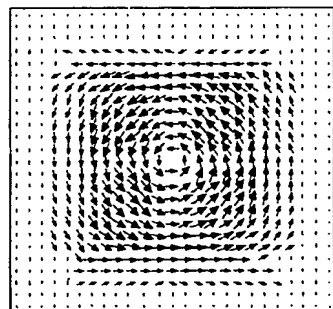


[Drawing 9]

(A)



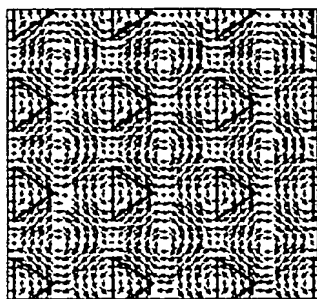
(B)



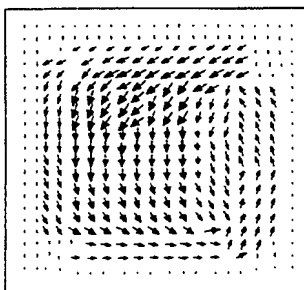
[Drawing 10]



(A)

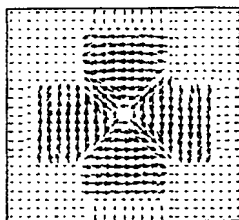


(B)

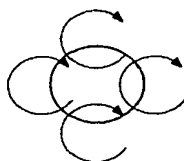


[Drawing 11]

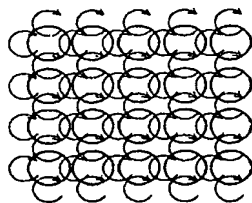
(C)

 $\pi - H$ 

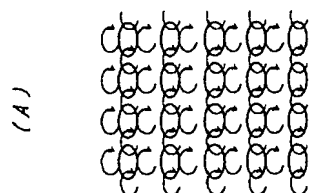
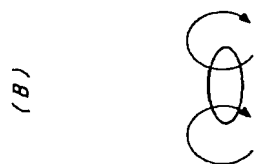
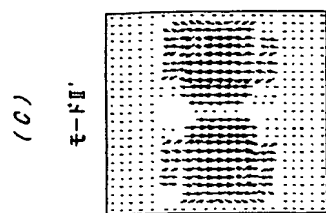
(B)



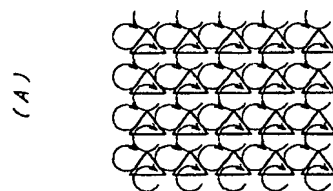
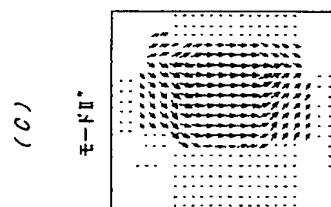
(A)



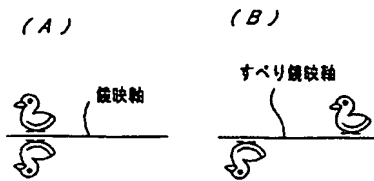
[Drawing 12]



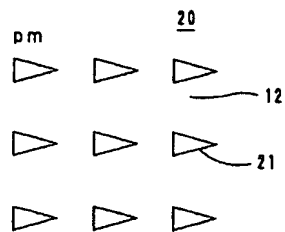
[Drawing 13]



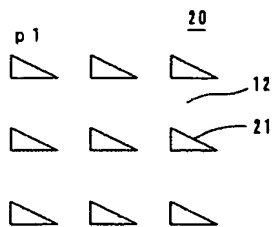
[Drawing 14]



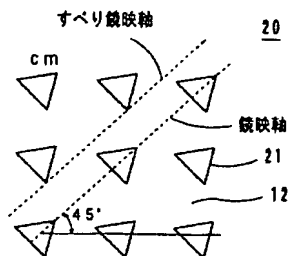
[Drawing 15]



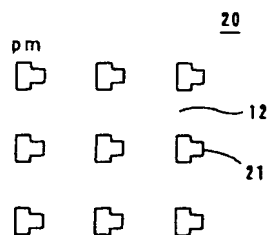
[Drawing 16]



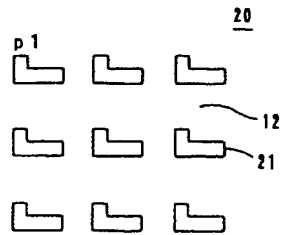
[Drawing 17]



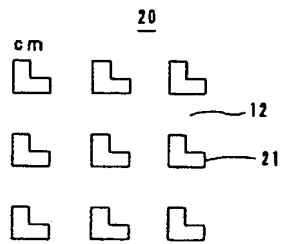
[Drawing 18]



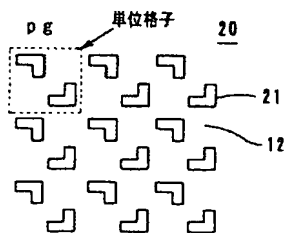
[Drawing 19]



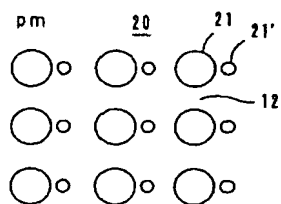
[Drawing 20]



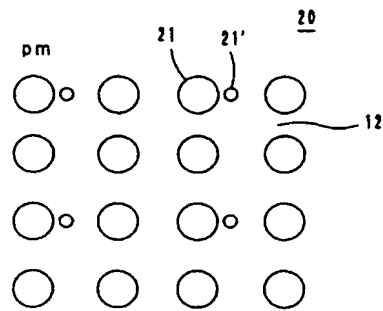
[Drawing 21]



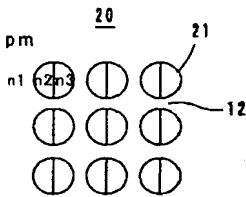
[Drawing 22]



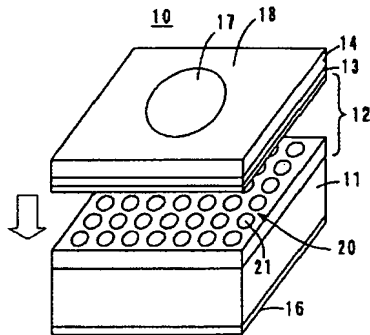
[Drawing 23]



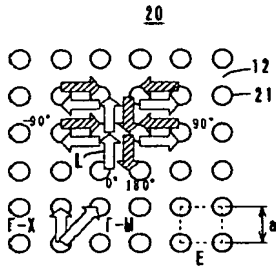
[Drawing 24]



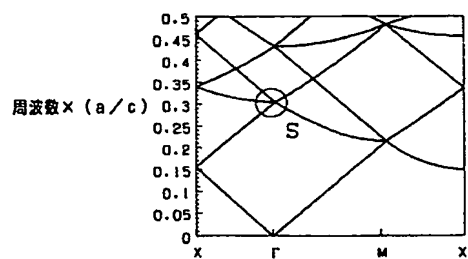
[Drawing 25]



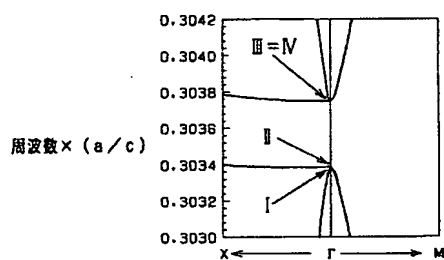
[Drawing 26]



[Drawing 27]

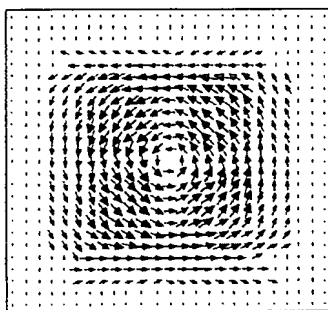


[Drawing 28]



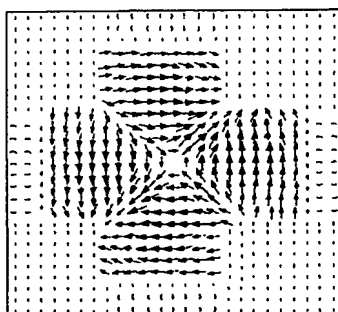
[Drawing 29]

モード I

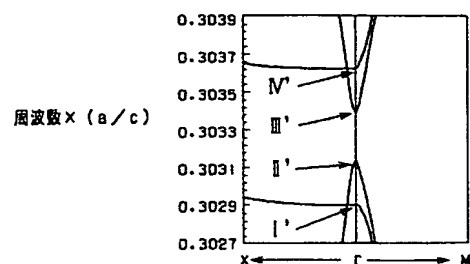


[Drawing 30]

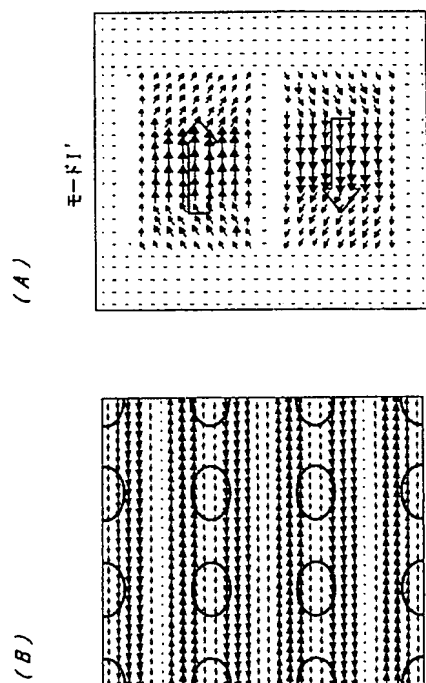
モード II



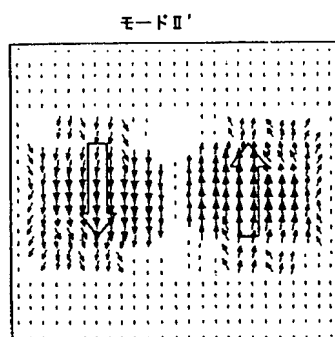
[Drawing 31]



[Drawing 32]

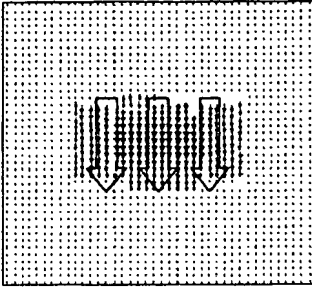


[Drawing 33]



[Drawing 34]

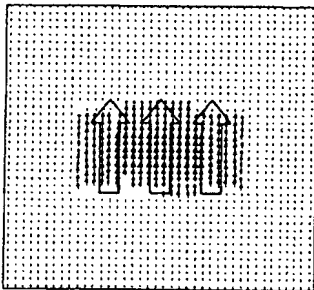
モードⅢ'



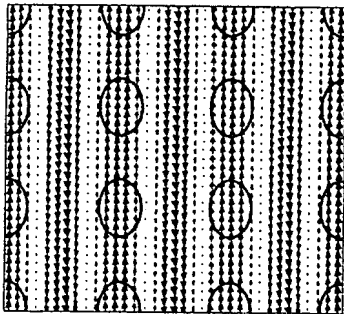
[Drawing 35]

モードⅣ'

(A)



(B)



[Translation done.]



(19)日本国特許庁 (J P)

(12) 公開特許公報 (A)

[実 12 頁]

(11)特許出願公開番号

特開2004-296538

(P 2 0 0 4 - 2 9 6 5 3 8 A)

(43)公開日 平成16年10月21日(2004.10.21)

(51)Int.Cl.<sup>7</sup>

H O 1 S 5/18

G O 2 B 6/12

F I

H O 1 S 5/18

G O 2 B 6/12

テーマコード(参考)

2 H 0 4 7

5 F 0 7 3

審査請求 未請求 請求項の数5 O L (全16頁)

(21)出願番号 特願2003-83706(P2003-83706)

(22)出願日 平成15年3月25日(2003.3.25)

(71)出願人 503360115

独立行政法人 科学技術振興機構

埼玉県川口市本町4丁目1番8号

(71)出願人 000001270

コニカミノルタホールディングス株式会社

東京都千代田区丸の内一丁目6番1号

(74)上記1名の代理人 100091432

弁理士 森下 武一

(72)発明者 野田 進

京都府宇治市五ヶ庄京大宿舍231

(72)発明者 横山 光

大阪府大阪市中央区安土町二丁目3番13

号 大阪国際ビル ミノルタ株式会社内

最終頁に続く

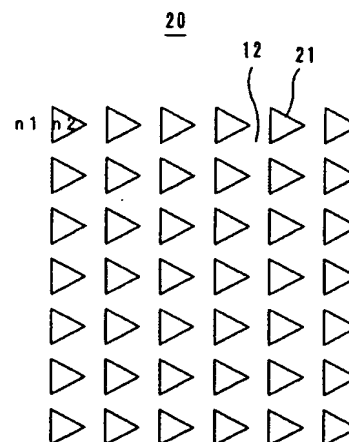
(54)【発明の名称】 2次元フォトリック結晶面発光レーザ

(57)【要約】

【課題】面発光された光が単峰性の直線偏光であると共に、Q値の高い2次元フォトリック結晶面発光レーザを得る。

【解決手段】キャリアの注入により発光する活性層(第1媒質)12又はその近傍に、屈折率の異なる第2媒質からなるフォトリック結晶周期構造体21を2次元の周期で配列した2次元フォトリック結晶面発光レーザ。フォトリック結晶20の格子構造は正方格子又は直交格子であり、並進対称性を備えるが回転対称性を備えていない。あるいは、フォトリック結晶20の格子構造は正方格子又は直交格子であり、2次元文様の分類方法でp1、pm、pg又はcmのいずれかである。最も好ましくは格子点の形状はほぼ三角形である。

【選択図】 図1



1

## 【特許請求の範囲】

## 【請求項1】

キャリアの注入により発光する活性層又はその近傍に、屈折率の異なる媒質を2次元の周期で配列したフォトリック結晶周期構造体を内蔵した2次元フォトリック結晶面発光レーザにおいて、前記フォトリック結晶周期構造体の格子構造が、正方格子又は直交格子であり、並進対称性を備えるが回転対称性を備えていないフォトリック結晶を内蔵していること、を特徴とする2次元フォトリック結晶面発光レーザ。

## 【請求項2】

キャリアの注入により発光する活性層又はその近傍に、屈折率の異なる媒質を2次元の周期で配列したフォトリック結晶周期構造体を内蔵した2次元フォトリック結晶面発光レーザにおいて、前記フォトリック結晶周期構造体の格子構造が、正方格子又は直交格子であり、2次元文様のIUC (International Union of Crystallography in 1952) の分類方法でp1、pm、pg又はcmのいずれかであるフォトリック結晶を内蔵していること、を特

10

20

## 【請求項3】

前記フォトリック結晶の格子点の形状がほぼ三角形であることを特徴とする請求項1又は請求項2に記載の2次元フォトリック結晶面発光レーザ。

## 【請求項4】

前記フォトリック結晶の格子点の形状が、比較的大きなほぼ円形状と比較的小さなほぼ円形状の組み合わせからなることを特徴とする請求項1又は請求項2に記載の2次元フォトリック結晶面発光レーザ。

30

## 【請求項5】

前記フォトリック結晶の格子点が、屈折率の異なる2種類以上の媒質若しくは屈折率分布を持つ媒質によって構成されていることを特徴とする請求項1又は請求項2に記載の2次元結晶面発光レーザ。

## 【発明の詳細な説明】

## 【0001】

## 【発明の属する技術分野】

本発明は、2次元フォトリック結晶面発光レーザ、特に、キャリアの注入により発光する活性層又はその近傍に、2次元的に屈折率周期を配置したフォトリック結晶周期構造体を備え、フォトリック結晶により共振して面発光する2次元フォトリック結晶面発光レーザに関する。

40

## 【0002】

## 【従来の技術】

## 【特許文献1】

特開2000-332351号公報

## 【特許文献2】

特開2003-23193号公報

## 【0003】

2

従来、基板面から垂直方向にレーザ光を出射する面発光レーザが種々開発、研究されている。面発光レーザは同一基板上に多数の素子を集積（アレイ化）でき、各素子からコヒーレントな光が並列的に出射されるため、並列光ピックアップ、並列光伝送、光並列情報処理の分野での用途が期待されている。

## 【0004】

この種の面発光レーザとして、フォトリック結晶を利用した2次元フォトリック結晶面発光レーザが特許文献1に開示されている。フォトリック結晶とは、光の波長と同程度もしくはより小さい屈折率周期を有する結晶であり、誘電体の多次元周期構造体では半導体の結晶中で電子状態にバンドギャップが生じることと同様の原理により、光の導波を抑制する波長帯（フォトリックバンドギャップ）が生じ、光を2次元又は3次元に閉じこめることが可能である。

## 【0005】

前記特許文献1に記載の2次元フォトリック結晶面発光レーザは、キャリアの注入により発光する活性層の近傍に、2次元的に屈折率周期を配置したフォトリック結晶周期構造体を備え、フォトリック結晶により共振して面発光するものである。

## 【0006】

具体的には、図25に示すように、2次元フォトリック結晶面発光レーザ10は、概略、基板11上に下部クラッド層12、活性層13、上部クラッド層14が積層され、下部クラッド層12には活性層13の近傍に2次元フォトリック結晶20が内蔵されている。

## 【0007】

基板11は、例えば、n型InPの半導体材料からなる。下部クラッド層12及び上部クラッド層14は、例えば、それぞれn型及びp型InPの半導体層であり、活性層13よりも屈折率が低い。2次元フォトリック結晶20は、下部クラッド層12に形成した空孔（フォトリック結晶周期構造体21、格子点とも称する）にて構成され、下部クラッド層12とは屈折率の異なる媒質が2次元の周期で配列された正方格子や三角格子からなっている。空孔内にはSiN等を充填してもよい。活性層13は、例えば、InGaAs/InGaAsP系の半導体材料を用いた多重量子井戸構造からなっており、キャリアの注入により発光する。

## 【0008】

下部クラッド層12及び上部クラッド層14により活性層13を挟んでダブルヘテロ接合を形成し、キャリアを閉じこめて発光に寄与するキャリアを活性層13に集中させるようになっている。

## 【0009】

基板11の底面及び上部クラッド層14の上面には金等からなる下部電極16及び上部電極17が形成されている。電極16、17間に電圧を印加することにより活性

50

3

層 1 3 が発光し、該活性層 1 3 から漏れた光が 2 次元フォトニック結晶 2 0 に入射する。2 次元フォトニック結晶 2 0 の格子間隔に波長が一致する光は、2 次元フォトニック結晶 2 0 により共振して増幅される。これにより、上部クラッド層 1 4 の上面（電極 1 7 の周囲に位置する発光領域 1 8）からコヒーレントな光が面発光される。

【0010】

ここで、図 2 6 に示すような正方格子からなる 2 次元フォトニック結晶 2 0 について共振作用を説明する。なお、格子形状は正方格子に限らず、直交格子等であってもよい。

【0011】

2 次元フォトニック結晶 2 0 は、第 1 媒質 1 2 内に空孔等の第 2 媒質 2 1 と直交する 2 方向に同じ周期で形成した正方格子からなっている。正方格子は  $\Gamma$ -X 方向と  $\Gamma$ -M 方向の代表的な方向を有している。 $\Gamma$ -X 方向に隣接する第 2 媒質 2 1 の間隔を  $a$  とすると、第 2 媒質 2 1 を格子点とした一辺が  $a$  の正方形からなる基本格子 E が形成されている。

【0012】

波長  $\lambda$  が基本格子 E の格子間隔  $a$  に一致する光 L が  $\Gamma$ -X 方向に進行すると、光 L は格子点で回折される。このうち、光 L の進行方向に対して  $0^\circ$ 、 $\pm 90^\circ$ 、 $180^\circ$  の方向に回折された光のみがブラッグ条件を満たす。さらに、 $0^\circ$ 、 $\pm 90^\circ$ 、 $180^\circ$  の方向に回折された光の進行方向にも格子点が存在するため、回折光は再度進行方向に対して  $0^\circ$ 、 $\pm 90^\circ$ 、 $180^\circ$  方向に回折する。

【0013】

光 L が 1 回又は複数回の回折を繰り返すと、回折光が元の格子点に戻るため共振作用が生じる。また、図 2 6 の紙面に垂直な方向に 1 次回折された光もブラッグ条件を満たす。このため、共振によって増幅された光が上部クラッド層 1 4 を介して出射され、面発光機能を有することになる。また、全ての格子点でこの現象が生じるため、面内全域でコヒーレントなレーザ発振が可能である。

【0014】

前記フォトニック結晶を利用した 2 次元的な共振現象を、より定量的に考えるために、2 次元正方格子フォトニック結晶における光の分散関係を図 2 7 に示す。図 2 7 において、横軸は波数ベクトルと称する光の波数の向きと大きさを表す。縦軸は光の周波数に  $a/c$  を乗じて無次元化した規格化周波数である。ここで、 $c$  は光速（単位： $m/sec$ ）で、 $a$  は格子間隔（単位： $m$ ）である。

【0015】

光のエネルギーの伝播速度である群速度  $v_g$  は、 $\partial \omega / \partial k$  で表されるので、図 2 7 においてその傾きが 0 となるバンド端では、光の群速度は 0 となり、定在波が生じ

4

ることを意味する。従って、様々なバンド端において、それぞれのバンド端に応じた特徴あるレーザ発振が可能となる。なかでも、ポイント S（ $\Gamma$  点第 2 群）のバンド端が前記 4 波の結合と、面に垂直な方向に光を取り出せる発振点である。

【0016】

図 2 8 に前記ポイント S の詳細を示す。図 2 8 を参照すると、 $\Gamma$  点のバンド端には一つの二重縮退をしたバンド端  $111$ 、 $1V$  を含む四つのバンド端（モード） $1$ 、 $11$ 、 $111$ 、 $1V$  があり、レーザ発振はこの四つのバンド端（モード）のいずれかで生じるものと考えられる。

【0017】

これら四つのモードのうち、バンド端  $111$ 、 $1V$  の 2 点は縮退しているため、縮退の性質により電界分布が一義的には決まらず不安定になる。また、縮退していない他の二つのモード  $1$ 、 $11$  は、偏光が特異であり、図 2 9 及び図 3 0 に示すような特徴を有している。図 2 9 はモード  $1$  の面発光成分の電界分布を示し、図 3 0 はモード  $11$  の面発光成分の電界分布を示している。

【0018】

図 2 9 及び図 3 0 から明らかなように、モード  $1$ 、 $11$  共に、偏光方向が場所により異なっているため、偏光が揃っていることが要求される用途では使用できないという問題点を有している。また、発光面の中心部においては互いに打ち消し合う方向に電界が重なり合うので、結果的に周辺のみが明るく、中心部は暗いドーナツ状の発光をしていることになる。

【0019】

また、二重縮退したモード  $111$ 、 $1V$  については、前述の如く、縮退の性質により電界分布が一定にならないので、このモード  $111$ 、 $1V$  でも偏光は一義的に決まらず不安定になる。そこで、本発明者らは、偏光方向のある特定の方向に揃えることを検討し、2 次元フォトニック結晶を構成する格子点の形状を適切に設計することにより、偏光が一方向に揃えることが可能であることを見出した（特許文献 2 参照）。

【0020】

その一例として、格子点の形状が楕円形状をなす場合の発振点付近のバンド構造を図 3 1 に示し、その電界分布を図 3 2 ～図 3 5 に示す。

【0021】

図 3 1 に示すバンド構造により、格子点形状が真円形状のとき縮退していたモード  $111$ 、 $1V$  は完全に縮退が解けて新たなモード  $111'$ 、 $1V'$  になっていることが分かる。

なお、格子点形状の楕円化により得られたモードをエネルギーの低いほうから、モード  $1'$ 、 $11'$ 、 $111'$ 、 $1V'$  と名付け、真円の場合のモードと区別することにする。

【0022】

5

また、格子点形状の楕円化による効果で非常に重要な点として、縮退の解けたモード  $111'$  及びモード  $1V'$  は勿論のこと、モード  $1'$  及びモード  $11'$  においても偏光方向が一方に揃っていることが電界分布を示す図 3 2 ~ 図 3 5 から明らかである。

【0023】

【発明が解決しようとする課題】

ところで、モード  $111'$ 、 $1V'$  は偏光方向に加えて位相も発光面の全ての場所で揃っている。これに対し、モード  $1'$ 、 $11'$  は偏光方向は揃っているが、中心部を挟んで上下（モード  $1'$ ）もしくは左右（モード  $11'$ ）で位相が  $180^\circ$  反転しているため、発光面の中心部では互いに電界が打ち消しあって暗くなる双峰性の発振をするという問題点が見られた。

【0024】

さらに、フォトニック結晶の共振器としての性質により、モード  $1'$ 、 $11'$  のほうがモード  $111'$ 、 $1V'$  よりも  $Q$  値が高く、モード  $111'$ 、 $1V'$  を発振モードとして選択すると、モード  $1'$ 、 $11'$  を発振モードとして選択した場合に比べると、閾値が高くなるという問題点も見られた。即ち、使いやすい単峰性の直線偏光と、低閾値化（ $Q$  値が高い）の両立が困難である。

【0025】

そこで、本発明の目的は、面発光された光が単峰性の直線偏光であると共に、 $Q$  値の高い 2 次元フォトニック結晶面発光レーザを提供することにある。

【0026】

【発明の構成、作用及び効果】

以上の目的を達成するため、第 1 の発明は、キャリアの注入により発光する活性層又はその近傍に、屈折率の異なる媒質を 2 次元の周期で配列したフォトニック結晶周期構造体を内蔵した 2 次元フォトニック結晶面発光レーザにおいて、前記フォトニック結晶の格子構造が、正方格子又は直交格子であり、並進対称性を備えるが回転対称性を備えていないフォトニック結晶を内蔵していることを特徴とする。

【0027】

第 2 の発明は、キャリアの注入により発光する活性層又はその近傍に、屈折率の異なる媒質を 2 次元の周期で配列したフォトニック結晶周期構造体を内蔵した 2 次元フォトニック結晶面発光レーザにおいて、前記フォトニック結晶の格子構造が、正方格子又は直交格子であり、2 次元文様の IUC (International Union of Crystallography in 1952) の分類方法で  $p1$ 、 $pm$ 、 $pg$  又は  $cm$  のいずれかであるフォトニック結晶を内蔵していることを特徴とする。

【0028】

前記第 1 及び第 2 の発明に係る 2 次元フォトニック結晶面発光レーザにおいては、フォトニック結晶の格子構造

6

を並進対称性を備えるが回転対称性を備えていない構造とすることにより、換言すれば、前記分類方法で  $p1$ 、 $pm$ 、 $pg$  又は  $cm$  のいずれかとすることにより、面発光された光が単峰性の直線偏光であると共に、 $Q$  値を高く（閾値を低く）することができる。

【0029】

第 1 及び第 2 の発明に係る 2 次元フォトニック結晶面発光レーザにおいて、フォトニック結晶の格子点の形状はほぼ三角形であることが好ましい。また、フォトニック結晶の格子点の形状は、比較的大きなほぼ円形状と比較的小さなほぼ円形状の組み合わせで構成してもよい。あるいは、フォトニック結晶の格子点が屈折率の異なる 2 種類以上の媒質若しくは屈折率分布を持つ媒質によって構成されていてもよい。

【0030】

【発明の実施の形態】

以下、本発明に係る 2 次元フォトニック結晶面発光レーザの実施形態について、添付図面を参照して説明する。

【0031】

（格子点が三角形の場合）

本発明に係る 2 次元フォトニック結晶面発光レーザは、図 1 にその平面構造を示すように、屈折率  $n_1$  の第 1 媒質（下部クラッド層）1 2 に屈折率  $n_2$ （但し、 $n_1 \neq n_2$ ）の第 2 媒質（フォトニック結晶周期構造体、格子点とも記す）2 1 を正方格子状に配置した 2 次元フォトニック結晶 2 0 からなる。この基本的な構造は図 2 5 に示した従来の面発光レーザと同様であり、図 2 6 に示した原理により面発光する。

【0032】

図 1 に示す 2 次元フォトニック結晶 2 0 はそのフォトニック周期構造体 2 1 の形状を三角形として正方格子を構成したもので、並進対称性を備えるが回転対称性を備えてはいない。

【0033】

図 2 ~ 図 5 に、フォトニック結晶周期構造体 2 1 を三角形とすることにより得られる面発光成分の電界分布を示す。この 2 次元フォトニック結晶 2 0 にあっても四つのモードが存在し、それぞれモード  $1''$ 、 $11''$ 、 $111''$ 、 $1V''$  と名付ける。図 2 ~ 図 5 から明らかなように、全てのモードで単峰性の直線偏光発振が得られていることが分かる。

【0034】

モード  $1''$ 、 $11''$ 、 $111''$ 、 $1V''$  は、それぞれ格子点形状が楕円形状である場合のモード  $1'$ 、 $11'$ 、 $111'$ 、 $1V'$ （図 3 2 ~ 図 3 5 参照）と同様のモードであるため、モード  $1''$ 、 $11''$  はモード  $111''$ 、 $1V''$  に比べて共振器としての  $Q$  値が高く、閾値が低くなる利点を有している。即ち、モード  $1''$ 、 $11''$  において低閾値と単峰性が両立できている。従って、格子点が三角形形状の 2 次元フォトニック結晶 2 0 ではモード 1

7

”又はモードⅠⅠ”を発振モードとして使用することになる。

#### 【0035】

前述の現象は以下のように理解される。2次元フォトリック結晶は、発光面に対して垂直方向に光を取り出すタイプのレーザであり、取り出される光の偏光はフォトリック結晶を構成している周期的な屈折率分布のうち、屈折率の低い部分に分布している電界の方向で決定される。格子点形状が楕円の場合、例えば、モードⅠ'の場合、図32(B)に示したフォトリック結晶領域における電界分布を見ると、電界は屈折率の低い楕円格子点を挟んで、その上下に、右方向に進む電界と、左方向に進む電界が存在するために、この光が回折により、フォトリック結晶から取り出され、干渉を経た結果、電界は図32(A)に示したように中心を挟んで上下で位相が異なる電界分布を有している。

#### 【0036】

一方、例えば、モードⅠⅤ'の場合、図35(B)に示したフォトリック結晶領域における電界分布を見ると、電界は屈折率の低い楕円格子点を一方向に貫くように分布しているために、この光が回折により、フォトリック結晶から取り出され、干渉を経た結果、電界は図35(A)に示したように一方向に揃っている。

#### 【0037】

従って、直線偏光を持った単峰性の電界分布を備えた放射モードを得るには、2次元フォトリック結晶の面内で屈折率の低い第2媒質に、方向の揃った電界を分布させればよいことになる。

#### 【0038】

そこで、図6～図8に格子点を真円形状、楕円形状及び三角形形状とした場合のモードⅠ、Ⅰ'、ⅠⅠにおける電界分布の様子を模式的に示す。図6(A)、図7(A)、図8(A)はフォトリック結晶内部での電界分布を示し、図6(B)、図7(B)、図8(B)は屈折率の低い第2媒質(2次元フォトリック周期結晶構造体)において1周期分取り出した場合の電界分布を示す。また、図6(C)、図7(C)、図8(C)は発光面に垂直方向に取り出された成分の電界分布を示す。図9及び図10にはさらに詳細な電界分布を示し、図9は格子点が真円形状の場合、図10は格子点が三角形形状の場合をそれぞれ示す。

#### 【0039】

ところで、格子点を三角形形状とした場合、発光面に垂直方向に取り出された成分の電界分布は、図8に示すように、厳密には、屈折率の低い第2媒質部分に分布する電界を180°回転させた像になる。

#### 【0040】

図11～図13に、前記図6～図8と同様に、格子点を真円形状、楕円形状及び三角形形状とした場合のモードⅠ、ⅠⅠ'、ⅠⅠⅠにおける電界分布の様子を模式的に

8

示す。

#### 【0041】

(格子点形状の条件及び種類)

図8及び図13に明らかなように、格子点を三角形形状とした本質的な特徴は、屈折率の周期と電界分布の周期をずらすことにある。このような現象は格子点が三角形形状である場合だけではなく、2次元フォトリック結晶を構成している格子構造が下記の条件を満たすことによって得られる。

#### 【0042】

即ち、格子構造が、回転対称性を含まない正方格子構造又は直交格子構造であればよい。

一般に、2次元の繰り返し文様は、IUC(International Union of Crystallography in 1952)の分類方法で17種に分類できることが知られている。17種とは、p1、pm、pg、cm、p2、pmm、pgg、cmm、pmg、p4、p4m、p4g、p3、p31m、p3m1、p6、p6mである。そのうち、回転対称性を含まない文様は、以下の表1に示すように、p1、pm、pg、cmの4種である。三角形形状の格子構造の場合はpmに相当する。

#### 【0043】

【表1】

(回転対称性を含まない2次元文様の分類)

IUC 記号	判定条件	可能な格子構造
p1	鏡映、すべり鏡映を含まない。	斜交格子、直交格子、面心格子、正方格子、六方格子
pm	鏡映を含む。 すべり鏡映軸は必ず鏡映軸でもある。	直交格子、正方格子
pg	鏡映を含まない。 すべり鏡映を含む。	直交格子、正方格子
cm	鏡映を含む。 鏡映軸ではないすべり鏡映軸が存在する。	面心格子、正方格子、六方格子

#### 【0044】

鏡映とは、図14(A)に示すように、鏡映軸に対して線対称な文様をいう。すべり鏡映とは、図14(B)に示すように、鏡映文様がすべり鏡映軸に対して平行移動した場合をいう。

#### 【0045】

次に、格子点形状として考えられる種々の形状を図15～図24に文様の種類(p1、pm、pg、cmのいずれか)と共に示す。なお、各図15～図21においては格子点形状の角部が90°ないしそれ以下の角度に描かれているが、実際に加工された周期構造体にあつては、それらの角部は丸みを有している。

#### 【0046】

並進対称性を備えるが回転対称性を備えていない格子構造は、一つ一つの格子点形状を変えなくても、図22又

9

は図23に示すように、真円形状の格子点21に小さな円形状21'を付加することにより実現できる。また、小円形状の付加の仕方も、数周期に1回でよい。要するに、個々の格子点形状のみならず、格子構造の全体として、有限サイズの基本格子が定義でき、それが正方格子又は直交格子として繰り返される文様であればよい。

【0047】

また、図24に示すように、格子点形状自体は真円であっても、格子点に第3の屈折率 $n_3$ の媒質を設けることで、 $p_m$ の文様に相当する格子構造を実現できる。第1媒質に空孔を形成した後、該空孔に屈折率 $n_2$ 、 $n_3$ の媒質を充填すればよい。あるいは、屈折率 $n_2$ の媒質を空気とすれば、屈折率 $n_3$ の媒質を半円形状に充填すればよい。また、格子点は屈折率の異なる2種以上の屈折率分布を持つ媒質によって充填されていてもよい。

【0048】

(他の実施形態)

なお、本発明に係る2次元フォトニック結晶面発光レーザーは前記実施形態に限定するものではなく、その要旨の範囲内で種々に変更することができる。

【0049】

特に、半導体層、フォトニック結晶、電極の材料や、光の偏光を揃えるための構造等は任意である。また、フォトニック結晶周期構造体は、下部クラッド層以外に、上部クラッド層内の活性層近傍もしくは活性層内に設けてもよい。

【0050】

また、第1媒質と第2媒質の屈折率の関係は、前記実施形態においては第2媒質の屈折率が第1媒質の屈折率よりも低いものとして説明したが、逆の関係であってもよい。

【図面の簡単な説明】

【図1】本発明に係る2次元フォトニック結晶面発光レーザーの結晶面構造の一例(格子点が三角形状)を示す平面図。

【図2】図1に示すフォトニック結晶の面発光成分(モードI")の電界分布を示すチャート図。

【図3】図1に示すフォトニック結晶の面発光成分(モードI I")の電界分布を示すチャート図。

【図4】図1に示すフォトニック結晶の面発光成分(モードI I I")の電界分布を示すチャート図。

【図5】図1に示すフォトニック結晶の面発光成分(モードI V")の電界分布を示すチャート図。

【図6】格子点を真円形状とした場合のモードIにおける電界分布を示すチャート図。

【図7】格子点を楕円形状とした場合のモードI'における電界分布を示すチャート図。

【図8】格子点を三角形状とした場合のモードI"における電界分布を示すチャート図。

【図9】格子点を真円形状とした場合のモードIに関し

10

て、(A)はフォトニック結晶領域における電界分布を示すチャート図、(B)は面発光成分の電界分布を示すチャート図。

【図10】格子点を三角形状とした場合のモードI"に関して、(A)はフォトニック結晶領域における電界分布を示すチャート図、(B)は面発光成分の電界分布を示すチャート図。

【図11】格子点を真円形状とした場合のモードI I'における電界分布を示すチャート図。

【図12】格子点を楕円形状とした場合のモードI I'における電界分布を示すチャート図。

【図13】格子点を三角形状とした場合のモードI I"における電界分布を示すチャート図。

【図14】鏡映及びすべり鏡映を示す説明図。

【図15】格子点形状とその配列の他の例を示す平面図。

【図16】格子点形状とその配列のさらに他の例を示す平面図。

【図17】格子点形状とその配列のさらに他の例を示す平面図。

【図18】格子点形状とその配列のさらに他の例を示す平面図。

【図19】格子点形状とその配列のさらに他の例を示す平面図。

【図20】格子点形状とその配列のさらに他の例を示す平面図。

【図21】格子点形状とその配列のさらに他の例を示す平面図。

【図22】格子点形状とその配列のさらに他の例を示す平面図。

【図23】格子点形状とその配列のさらに他の例を示す平面図。

【図24】格子点形状とその配列のさらに他の例を示す平面図。

【図25】本発明に先行する2次元フォトニック結晶面発光レーザーを示す斜視図。

【図26】2次元フォトニック結晶面発光レーザーの共振作用を示す説明図。

【図27】格子点が真円形状である2次元正方格子フォトニック結晶における光の分散関係を示すバンド図。

【図28】図27のポイントSの詳細を示すバンド図。

【図29】格子点が真円形状であるモードIの面発光成分の電界分布を示すチャート図。

【図30】格子点が真円形状であるモードI I'の面発光成分の電界分布を示すチャート図。

【図31】格子点を楕円形状とした2次元正方格子フォトニック結晶における光の分散関係を示すバンド図。

【図32】格子点を楕円形状としたモードI'に関して、(A)は面発光成分の電界分布を示すチャート図、(B)はフォトニック結晶領域における電界分布を示す

11

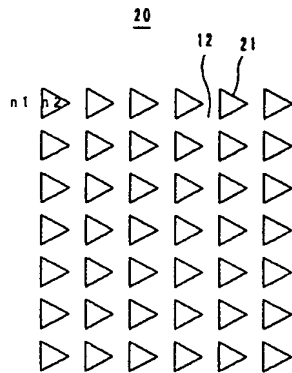
ャート図。

【図 3 3】格子点を楕円形状としたモード I I' の面発光成分の電界分布を示すチャート図。

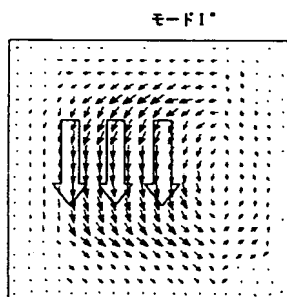
【図 3 4】格子点を楕円形状としたモード I I I' の面発光成分の電界分布を示すチャート図。

【図 3 5】格子点を楕円形状としたモード I V' に関して、(A) は面発光成分の電界分布を示すチャート図、

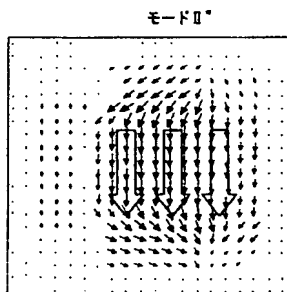
【図 1】



【図 2】



【図 3】



12

(B) はフォトニック結晶領域における電界分布を示すチャート図。

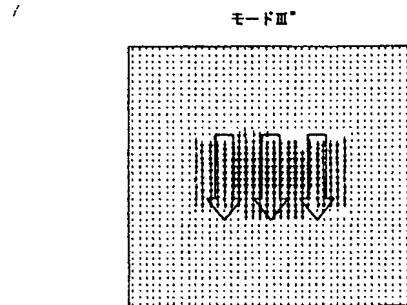
【符号の説明】

1 2…第 1 媒質 (下部クラッド層)

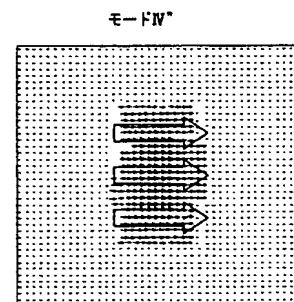
2 0…2 次元フォトニック結晶

2 1…第 2 媒質 (フォトニック結晶周期構造体、格子点)

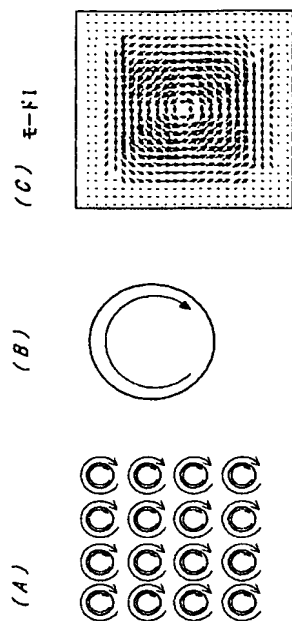
【図 4】



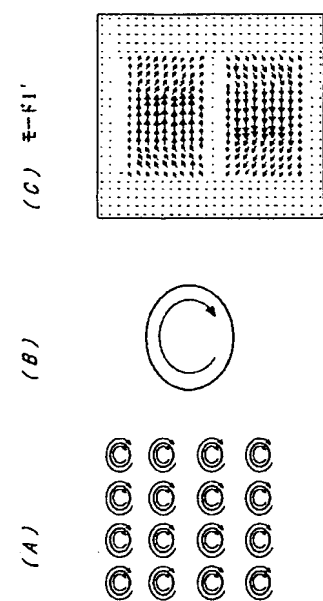
【図 5】



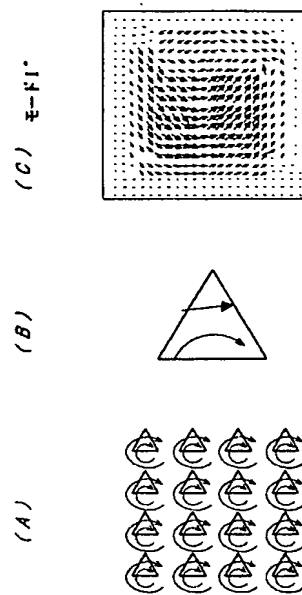
【図6】



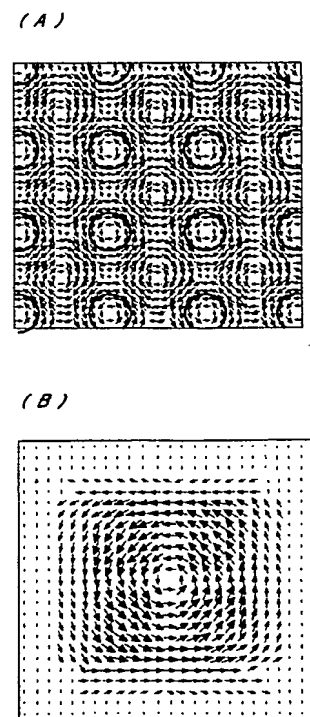
【図7】



【図8】



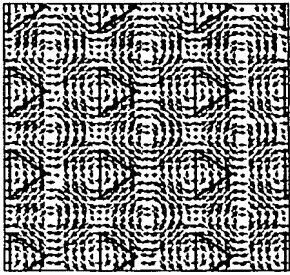
【図9】



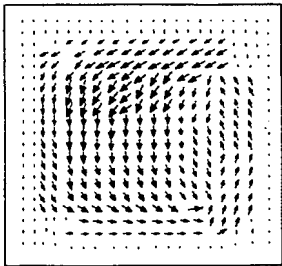


【図10】

(A)



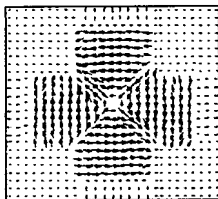
(B)



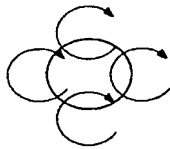
【図11】

(C)

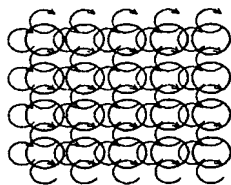
モードII



(B)



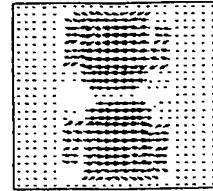
(A)



【図12】

(C)

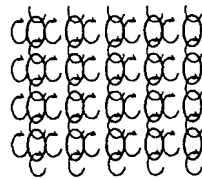
モードII



(B)



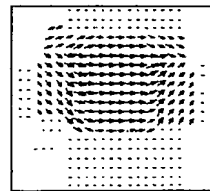
(A)



【図13】

(C)

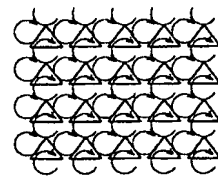
モードII



(B)



(A)



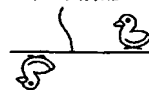
【図14】

(A)

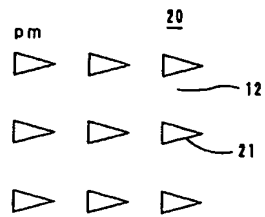


(B)

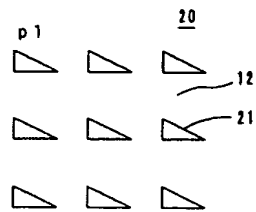
すべり鏡映軸



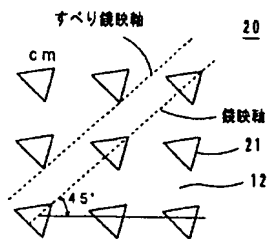
【図 15】



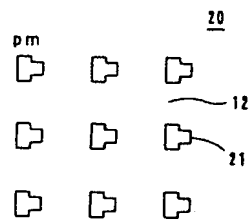
【図 16】



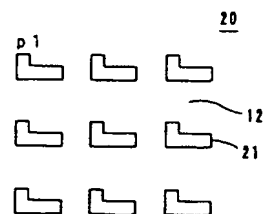
【図 17】



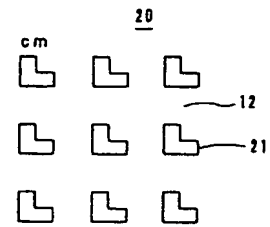
【図 18】



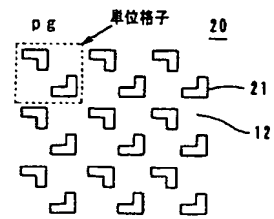
【図 19】



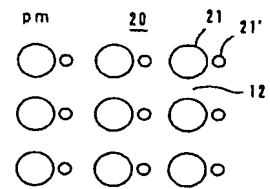
【図 20】



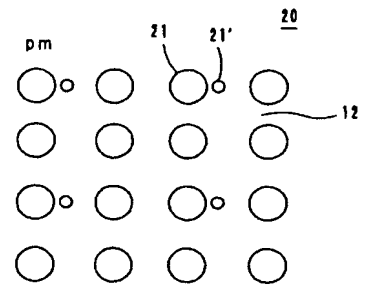
【図 21】



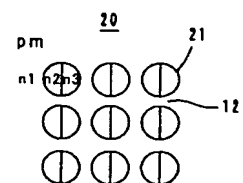
【図 22】



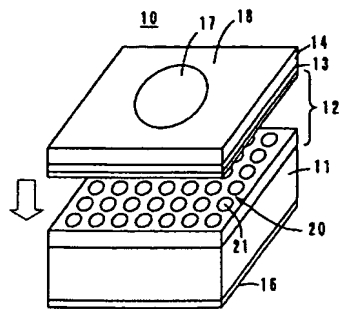
【図 23】



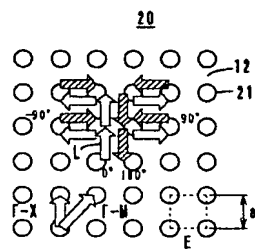
【図 24】



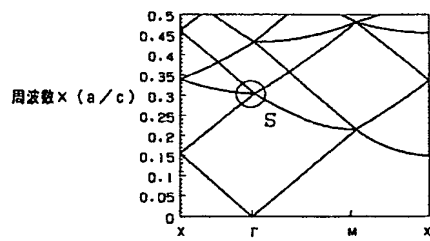
【図 25】



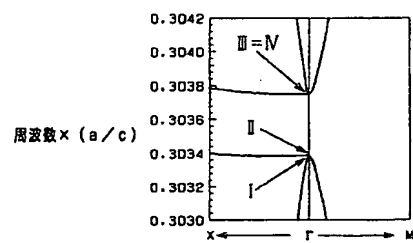
【図 26】



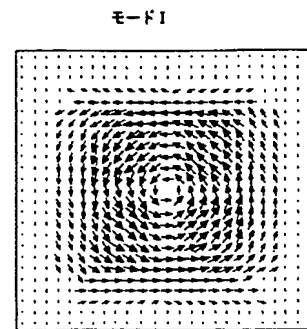
【図 27】



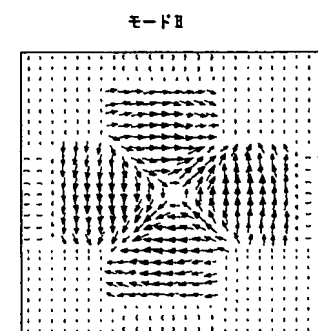
【図 28】



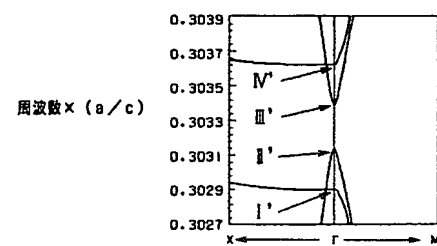
【図 29】



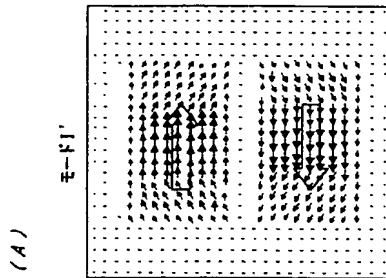
【図 30】



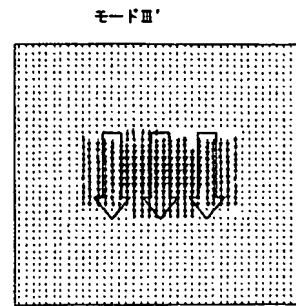
【図 31】



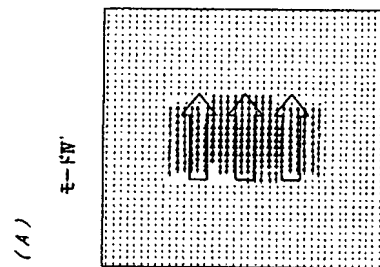
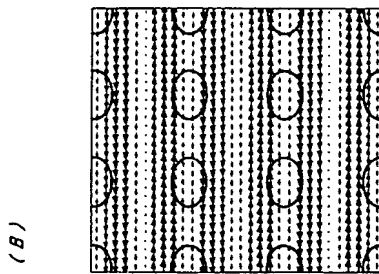
【図 3 2】



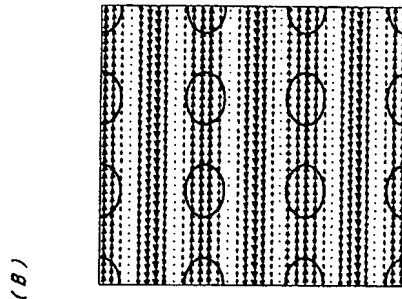
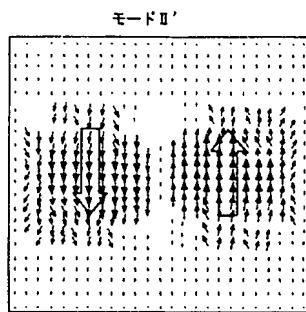
【図 3 4】



【図 3 5】



【図 3 3】



フロントページの続き

(72)発明者 関根 孝二郎

大阪府大阪市中央区安土町二丁目3番13号 大阪国際ビル ミノルタ株式会社内

(72)発明者 宮井 英次

京都府京都市西京区榎原山路16-1 ネクストライフ101

Fターム(参考) 2H047 KA02 KA03

5F073 AB16

**This Page is Inserted by IFW Indexing and Scanning Operations and is not part of the Official Record.**

## **BEST AVAILABLE IMAGES**

Defective images within this document are accurate representations of the original documents submitted by the applicant.

Defects in the images include but are not limited to the items checked:

- ☒ **BLACK BORDERS**
- ☐ **IMAGE CUT OFF AT TOP, BOTTOM OR SIDES**
- ☐ **FADED TEXT OR DRAWING**
- ☐ **BLURRED OR ILLEGIBLE TEXT OR DRAWING**
- ☐ **SKEWED/SLANTED IMAGES**
- ☐ **COLOR OR BLACK AND WHITE PHOTOGRAPHS**
- ☐ **GRAY SCALE DOCUMENTS**
- ☒ **LINE(S) OR MARK(S) ON ORIGINAL DOCUMENT**
- ☒ **REFERENCE(S) OR EXHIBIT(S) SUBMITTED ARE POOR QUALITY**
- ☒ **OTHER:** \_\_\_\_\_

## **IMAGES ARE BEST AVAILABLE COPY.**

**As rescanning these documents will not correct the image problems checked, please do not report these problems to the IFW Image Problem Mailbox.**